第４講　生態系と進化

【１】 次の文章を読み，下の問いに答えよ。

愛知県の水田には，ニホンアマガエル(以下，アマガエルと記述)，トノサマガエル，ヌマガエルがしばしば共存するが，それぞれの種の幼生の生息密度は水田ごとに大きくばらつく。N君はこのことに興味を持ち，以下の調査を行った。

調査Ⅰ：ある2つの水田地域(地点①，地点②)に自動録音装置を置き，毎晩定刻の5分間，カエルの鳴き声を録音した。地点①は一年中水が張られているのに対し，地点②は5月15日に水張りが行われ，それ以前には水がない。録音データ中の，各種の鳴き声を確認したところ，図1が得られた。

調査Ⅱ：ある水田内の5ヶ所において，40cm × 20cmの木枠を沈め，枠内の幼生の種類と個体数を調べた。5ヶ所のデータを合算して1枚の水田の値とし，これを93枚の水田において繰り返した。調査は6月中旬に集中して行った。いずれの水田でも子ガエルへの変態は起こっていなかった。各水田におけるヌマガエル幼生の個体数と，他種(アマガエル，トノサマガエル)幼生の個体数の関係を調べたところ，図2が得られた。

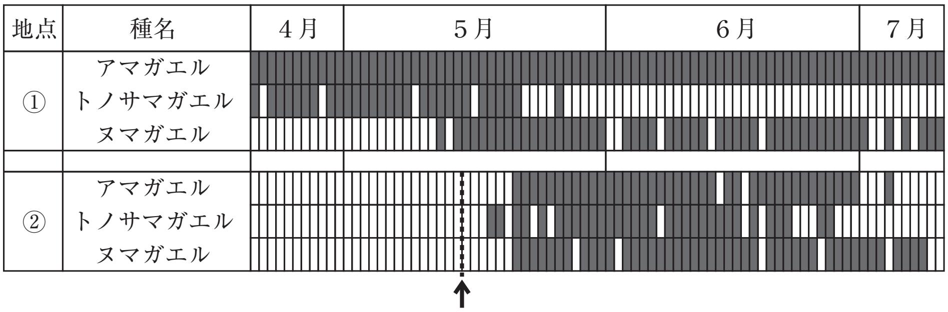


図１　地点①と地点②におけるアマガエル，トノサマガエル，ヌマガエルの音声の確認状況。各長方形は１日分を現し，少しでも音声の確認できた種について灰色に塗りつぶした。地点②において水田に水張りがなされた日（5月15日）には矢印を付した。

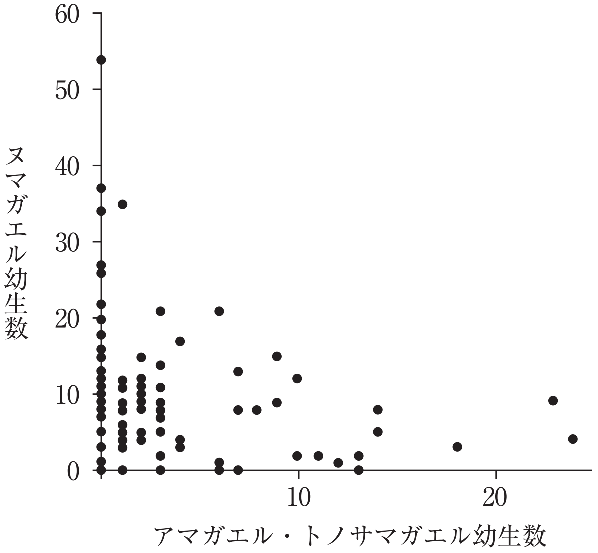


図２　各水田で採集されたアマガエル・トノサマガエル幼生の個体数の合計を横軸に，ヌマガエル幼生の個体数を縦軸に示した図。１つの点が１枚の水田を表す。

以下は，図１，図２を見たＮ君と指導教員Ｓ先生の会話である。

会話１

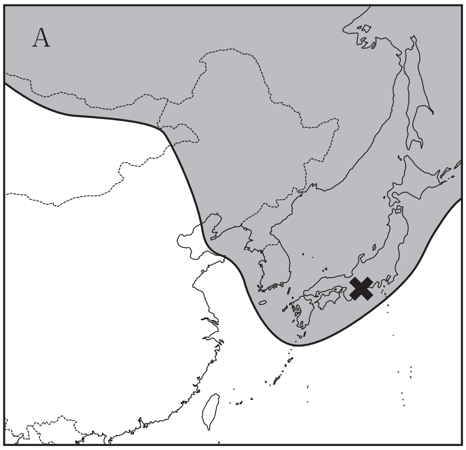
Ｓ先生：　我々がよく聞くカエルの鳴き声は『繁殖音』と言って，繁殖期のオスがメスを誘引するための声だ。つまり，図１で灰色に塗られた期間はおおむね産卵期と対応している。

Ｎ　君：　地点①と地点②は同じ愛知県の水田で，標高も周囲の環境もほぼ同じなのに，アマガエルやトノサマガエルの産卵期はずいぶん違いますね。

Ｓ先生：　アマガエルやトノサマガエルは，産卵に適した水域があれば，まだ水の冷たい4月から産卵を始められるが，水域がない場合は繁殖の開始を遅らせることも可能なんだ。一方，ヌマガエルは，そもそもある程度水温の上がった5月中旬にならないと活発に産卵しないから，地点①と②でそれほど繁殖開始の時期が違わなかったんだろう。

Ｎ　君：　どうしてそんな種ごとの差が出るんでしょうか。

Ｓ先生：　彼らの分布様式にヒントがあるかも知れない。ここに2枚の地図がある（図3A, B）。片方がアマガエルの分布，もう片方はヌマガエルの分布だ。ＡとＢのどっちがアマガエルかわかるかい？



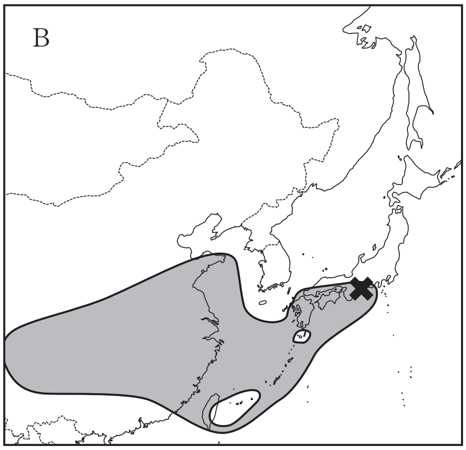


図３　２種のカエルの分布図の概略。外来種として移入した地域を除く。
✖：愛知県の位置。

会話２

N　君：　それにしても，図2を見ると，ヌマガエルの幼生と他種の幼生との間には，何らかの関係がありそうですね。

S先生：　そうだな。しかし，種間の直接的な関係性があるかどうかはまだわからないよ。たとえば，ヌマガエルが好んで産卵する環境とトノサマガエルやアマガエルが好んで産卵する環境が異なっていて，この結果は単に好みの違いを反映しているだけかも知れない。

N　君：　そういう間接的な影響については実験的な検証が難しいですね。他種幼生の存在が直接ヌマガエルに何か影響を与えていると仮定すれば，もう少し仮説を絞れるんですが。

S先生：　そうか。どんな仮説が考えられる？

N　君：　それについてはいくつかアイディアがあるので，来シーズンの課題にしてみます。

N君は翌年，以下の３つの実験を行った。

実験１：コンクリート製の囲いに泥を敷き，その上に浅く水を張った皿を32個，半分泥に埋めて並べた。そのうえで，半数の皿にのみトノサマガエルの幼生を３個体ずつ入れた。この囲いにヌマガエルのオス16個体，メス16個体を入れ，一晩放置した。この試行を５回繰り返した結果，幼生入り皿は14個，幼生なし皿は11個が産卵場所として利用され，利用頻度が偏っているようには見えなかった。

実験２：飼育容器を40個用意し，浅く水を張って，ヌマガエルの卵を１容器に10個入れた。そのうえで，半数の容器にのみトノサマガエルの幼生を１個体ずつ入れた。一晩放置したところ，幼生なしの容器に入れた卵は平均9.7個残っていたが，幼生入りの容器に入れた卵は平均1.6個残っており，両者の間には明確な差が認められた。また実験中，トノサマガエル幼生による卵の捕食が確認された。

実験３：飼育容器を40個用意し，１容器あたり３個体のヌマガエル幼生を入れた。そのうえで，半数の容器にのみトノサマガエル幼生を１個体ずつ入れた。この飼育容器について，餌やりと水替えを適宜行い，２週間後のヌマガエル幼生の死亡率を比較した。その結果，トノサマガエル幼生と同居したヌマガエル幼生の死亡率は19.0%，同居させなかったヌマガエル幼生の死亡率は9.5%で，若干の差はありつつも，明確な差とは言えなかった。

（出典：Current Herpetology 36(2) 2017，Current Herpetology 37(1) 2018改変）

問１　調査Ⅱにおいて，単に幼生を網ですくい取るのではなく，枠をはめてその中の個体を採集する区画法（コドラート法・方形枠法）を用いる理由を説明せよ。

問２　会話１の最後のＳ先生の問いかけに対して，図３ＡとＢのどちらの分布図がアマガエルのものであると考えられるかを推測し，その根拠を説明せよ。

問３　実験１，２，３は，トノサマガエル幼生の存在がヌマガエル幼生の生息密度に何らかの影響をもたらしていると仮定して，その具体的な機構に関する仮説を検証するための実験である。Ｎ君はそれぞれどんな仮説を立てたのか，実験ごとに説明せよ。

問４　ヌマガエルが，これまで生息していなかった水田に進出する際に，どのような水田に定着しやすいことが想定されるか，この問題の文章の内容を踏まえて仮説を立て，なぜそうした水田に定着しやすいと推測できるのか，その理由を説明せよ。

【2】

次の〔Ⅰ〕と〔Ⅱ〕の文章を読み，以下の問(1)〜(8)に答えよ。

〔Ⅰ〕　哺乳類は中生代三畳紀に出現した。初期に出現した哺乳類は，現存する単孔類に近く，卵を産み，乳で子を育てる動物であったと考えられている。そののち，胎生を獲得した有袋類が出現した。中生代ジュラ紀には，［ア］が発達して十分に成長した子を産む真獣類が出現した。新生代に入ると，哺乳類の系統では，さまざまな環境に適応した種（しゅ）が出現し，多様化が進んだ。たとえば，クジラの祖先は海へ進出し，(a)コウモリの祖先は飛翔（ひしょう）能力を獲得して空中へと進出した。このように，進化のなかでも環境に応じて共通の祖先からさまざまな形質をもつ種が生じる現象を［イ］という。また，異なる祖先から同じような形質が進化することを［ウ］という。

中生代の三畳紀から白亜紀にかけて(b)大陸の移動による大規模な陸地の分断が起きた。中生代末期になると，(c)平爪で母指対向性の霊長類が出現した。新生代新第三紀のはじめには，霊長類から尾をもたない類人猿が出現した。約500万年前に出現したラミダス猿人は，骨盤などの構造から［エ］歩行していたと考えられており，移動様式に大きな変化が起きた。約30万年前に出現したホモ属のなかまは，ヨーロッパから中近東に分布し，現生人類と同等の容量の脳をもっていた。

問(1)　［ア］〜［エ］に適切な語句を入れよ。

問(2)　文章中に二重線を引いた単孔類(A)，有袋類(B)，真獣類(C)，類人猿(D)，約30万年前に出現したホモ属(E)，に該当する動物を次の①〜⑨からすべて選び，番号を記せ。複数該当する場合は，該当するすべての番号を記せ。なお，同じ番号を複数回用いてもよい。

①　ホモ・ネアンデルタール　　②　カモノハシ
③　テナガザル　　④　ホモ・エレクトス
⑤　コアラ　　⑥　ペンギン
⑦　アリクイ　　⑧　カンガルー
⑨　メダカ

問(3)　下線部(a)について，コウモリの翼の相同器官に該当するものを，次の①〜⑤からすべて選び，番号を記せ。

①　カブトムシの前脚　　②　シーラカンスの胸びれ
③　ニワトリの翼　　④　アゲハチョウの前翅（まえばね）
⑤　ハツカネズミの前肢

問(4)　下線部(b)について，大陸の分断により種分化が生じたしくみを60字以内で記せ。

問(5)　下線部(c)について，霊長類において平爪と母指対向性が獲得された理由を，霊長類が適応した環境を考慮して50字以内で記せ。

〔Ⅱ〕 (d)塩基配列上に生じる突然変異には，生存に不利なもの，有利なもの，どちらでもないもの，がある。アミノ酸を指定する塩基配列の置換のうち，アミノ酸を変化させない置換を同義置換といい，アミノ酸を変化させる置換を非同義置換という。
表1と表2は，ヒト，チンパンジー，ゴリラ，オランウータンの(e)*ASPM*という遺伝子の塩基配列を用い，4種の中で2種ずつ比較して観察された非同義置換の数(表１)と同義置換の数(表２)をまとめたものである。たとえば，ヒトとゴリラの塩基配列の比較では，57個の非同義置換と33個の同義置換が観察されたことを示す。遺伝子の塩基配列を２種間で比較し，異なる塩基配列を数えると，遠縁な種ほど塩基配列の違いが多くなる傾向がある。アミノ酸配列を用いて比較しても同様に，２種間の系統的な違いに比例して，異なるアミノ酸配列の数が増える傾向が観察される。

図１は，表１と表２で用いた霊長類４種の系統関係と脳容量を示している。系統樹上の数字は，進化過程で生じた*ASPM*遺伝子の非同義置換数と同義置換数を表している。たとえば，オランウータンの系統では，他の霊長類3種との共通祖先から種分化したのちに，*ASPM*遺伝子配列上に29個の非同義置換と27個の同義置換が生じたことを示している。

表１　非同義置換数

	ヒト	チンパンジー	ゴリラ	オランウータン
ヒト		33	57	73
チンパンジー	―		52	68
ゴリラ	―	―		72
オランウータン	―	―	―	

表２　同義置換数

	ヒト	チンパンジー	ゴリラ	オランウータン
ヒト		16	33	52
チンパンジー	−		35	54
ゴリラ	−	−		59
オランウータン	−	−	−	

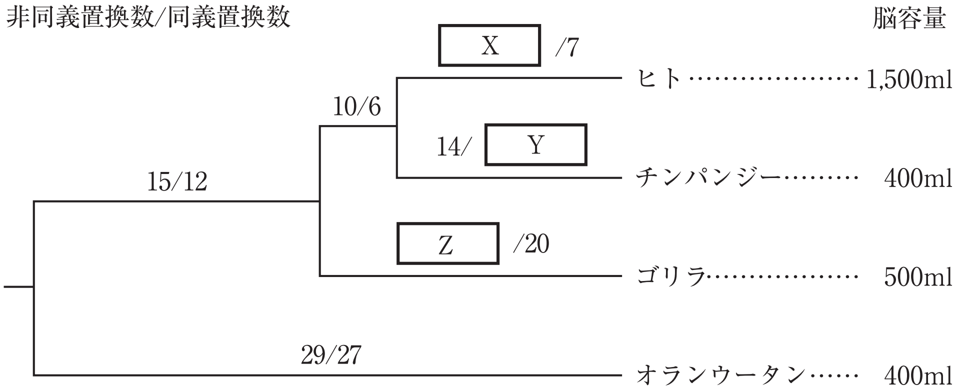


図１　霊長類の脳容量と各系統で生じた*ASPM*遺伝子の塩基置換の数

問(6)　下線部(d)について，生存に不利な突然変異は集団中から排除されるが，生存に有利な突然変異は自然選択により集団中に広まる。一方で，有利でも不利でもない突然変異が集団中に広まることがあるが，このような現象が起こる理由を50字以内で記せ。

問(7)　表１と表２をもとに，図１の［X］～［Z］に適切な数値を記せ。

問(8)　下線部(e)について，*ASPM*遺伝子は，ヒトの脳の成長において重要な役割を担うと考えられている。図１に示す通り，ヒトの脳は霊長類の中で最も大きい。進化の過程におけるヒトの脳容量の増大とともに，ヒトの*ASPM*遺伝子から合成されるタンパク質の機能が変化したと考えられている。図1をもとに，ヒトの進化過程でASPMタンパク質の機能が選択的に大きく変化したと考えられる理由を，次の語群の2つの用語を用いて50字以内で記せ。

〔語群〕

同義置換数　　　　非同義置換数

第４講

【１】

問１　枠をはめることで，一定面積あたりに存在した幼生の数を正確に調べることができ，水田間で幼生の密度を比較することができる。

問２　A

根拠…アマガエルは4月下旬のまだ水温が低い時期から繁殖をする能力を持つが，ヌマガエルは5月中旬のもっと水温が上がった時期でないと繁殖できない。図Aの分布域は日本列島から北方に広がっており，より寒冷地に適応した種と推測され，低温でも繁殖できるアマガエルがそれに該当すると推測される。

問３

実験１　ヌマガエルの雌が，産卵時にトノサマガエル幼生が棲んでいる水田を避けて産卵するためにトノサマガエル幼生の多い水田でヌマガエル幼生が少なくなっているという仮説

実験２　ヌマガエルの卵を，先に存在するトノサマガエル幼生が捕食してしまうために，トノサマガエル幼生の多い水田でヌマガエル幼生が少なくなっているという仮説

実験３　トノサマガエル幼生の存在下でヌマガエル幼生の死亡率が高くなり，そのためにトノサマガエル幼生の多い水田でヌマガエル幼生が少なくなっているという仮説

問４　解答例　ヌマガエルより先に産卵するアマガエル，トノサマガエル等の種が何らかの理由で少ない水田は，卵に対する捕食者が少なく，卵の死亡率が低くなって定着しやすい。

【２】

〔Ⅰ〕問⑴　ア　胎盤　　イ　適応放散　　ウ　収束進化［収れん］　　エ　直立二足

問⑵　(A)　②　　(B)　⑤，⑧　　(C)　①，③，④，⑦　　(D)　③　　(E)　①

問⑶　②，③，⑤

問⑷　地理的隔離が起こることで，遺伝的交流がなくなり，各集団に変異が蓄積されることで生殖的隔離が成立した。

問⑸　樹上生活をしていた霊長類にとって，木の枝などをしっかり握ることができる形質を持つことは生存に有利であったため。

〔Ⅱ〕問⑹　偶然的に特定の対立遺伝子を持った個体が生き残ることで，次世代に伝えられる遺伝子頻度が変化するため。

問⑺　X　19　　Y　9　　Z　28

問⑻　チンパンジーとの共通祖先から分岐した後の<u>同義置換数</u>に対する<u>非同義置換数</u>の割合が最も大きいため。